

9.

11.

ÉRTEKEZÉSEK

MÉSZETTUDOMÁNYOK KÖRÉBŐL.

KIADJA A MAGYAR TUD. AKADEMIA.

A III. OSZTÁLY RENDELETÉBŐL

SZERKESZTI

SZABÓ JÓZSEF

OSZTÁLYTITKÁR.

BUDAPEST SZÉKES FŐVÁROS  
KÖNYVTÁRA.

Beszerzési napló

évszám: 1895

folyószám: 1724

XX. KÖTET. 4. SZÁM. 1890.

Á HANGÁTTÉTELLEL ELŐIDÉZETT  
HANGIDOMOKRÓL KIFESZÍTETT REZGŐ  
HÁRTYÁKON ÉS ÜVEGLEMEZEKEN.

ANTOLIK KÁROLY

GYMN. TANÁRTÓL, ARADON.

(Olvastatott a III. osztály ülésén 1889. május 20.)

Ára 30 kr.

BUDAPEST.

1890.





# ÉRTEKEZÉSEK

## A TERMÉSZETTUDOMÁNYOK KÖRÉBŐL.

**Első kötet. 1867—1870. — Második kötet. 1870—1871. — Harmadik kötet. 1872. — Negyedik kötet. 1873. — Ötödik kötet. 1874. — Hatodik kötet. 1875. — Hetedik kötet. 1876. — Nyolczadik kötet. 1877. — Kilenczedik kötet. 1878—1879. — Tizedik kötet. 1880.**

### **Tizenegyedik kötet. 1881.**

I. Az associált szemmozgások idegmechanismusáról. 2 fametszettel. (Második közlemény. II. rész. Az idegrendszer egyes részeinek befolyásáról az önkénytelen associált szemmozgásokra.) Dr. *Högyes Endrétől.* — II. A Frusca-gora aquitaniai flórája. 4 táblával. Dr. *Staub Mórictől.* — III. A pingicula és utricularia sejtnagjaiban előforduló krystalloidokról. (Egy táblával.) *Klein Gyulától.* — IV. Vegyeréltani vizsgálatok. (II. értekezés.) Dr. *Than Károlytól.* Egy tábla körrajzzal. — V. Ujabb tanulmányok a kámforesoport köréből. *Balló Mátyástól.* — VI. A homoródi vasas savanyuvíz-források chemiai elemzése. Dr. *Solymosi Lajostól.* — VII. A solymosi hideg savanyu ásványvíz chemiai elemzése. Dr. *Hankó Vilmostól.* — VIII. Önműködő higanylégszivattyú. *Schuller Alajostól.* Egy rajzzal. — IX. Adatok a Mecsekhegység és dombvidéke jurakorbeli lerakódásainak ismeretéhez. (II. Palaeontologiai rész.) *Böckh Jánostól.* 10 tábla rajzzal. — X. A carludovica és a canna gummijáratáról. *Szabó Ferencztől.* Egy táblával. — XI. Budapest főváros ivóvizei egészségi szempontból s néhány ásványvíz elemzése. *Balló Mátyástól.* — XII. Emlékbeszéd William Stephen Atkinson külső tag felett. Dr. *Duka Tivadartól.* — XIII. Adatok a harántesiku izmok szerkezete- és idegvégződéséhez. (Székfoglaló értekezés.) — *Thanhoffér Lajostól.* Egy 4-es rétű tábla rajzzal. — XIV. A mohai (fehérmegyei) Agnes-forrás vegyelemzése. Dr. *Lengyel Bélától.* — XV. Egy újabb szerkeszteti, vízszivattyúval combinált higany-légszivattyúról. Dr. *Lengyel Bélától.* Egy tábla rajzzal. — XVI. Az elzöldült szarkaláb mint morphologiai utmutató. *Borbás Vinczétől.* Egy tábla rajzzal. — XVII. A víznek képződési melegéről. *Schuller Alajostól.* — XVIII. Békésvármegye flórája. Dr. *Borbás Vinczétől.* — XIX. Rendhagyó köggombák. *Hazslinszky Frigyesztől.* Rajzokkal. — XX. Dolgozatok a k. m. tud. egyetem élettani intézetéből. Közi *Jendrassik Jenő.* (I. Adatok a szűrődés tanához. Regéczy Nagy Imre tr. tanársegédétől. II. A gyomor hámsajtjeiről. Ballagi János tr. élettani gyakornoktól. III. A zsírfel szívódáshoz a gyomorban. Mátrai Gábor orvostanhallgatótól. IV. A zsírok átszívárgásáról, nevezetesen az epe befolyása alatt. Hutýra Ferencz orvostanhallgatótól. Rajzokkal.) — XXI. Emlékbeszéd Kenessey Albert felett. *Galgóczy Károlytól.* — XXII. A tudományok haladásának befolyása a selmeczvidéki bányamívelésre. *Péck Antaltól.* — XXIII. Vegyeréltani vizsgálatok. A calorimetrikus mérések adatainak összehasonlításáról. *Than Károlytól.* — XXVI. Közlemények a m. kir. egyetem vegytani laboratoriumából. Bemutatta *Than Károly.* (I. A borkősav száraz lepárlási terményeiről. Liebermann Leótlól. II. Adatok a Carbonylsulfid physikai sajáttságaihoz s tiszta Carbonylsulfid előállítása. 2-ik közlemény. Ilosvay Lajostól.) — XXV. Közlemények az állatorvosi tanintézet vegytani laboratoriumából. *Liebermann Leótlól.* (I. A kénessav kimutatása a borban és más folyadékokban II. Egy készülék könnyen olvadó fémek és öntvények olvadási pontjának meghatározására.) Egy rajzzal. — XXVI. A hydrogen hyporoxyl képződése égés közben. II. Válasz a víz képződési melegének ügyében. *Schuller Alajostól.*

### **Tizenkettedik kötet 1882.**

I. Baryt és Cerusit Felekesről Borsodmegyében. (Négy könyomatú táblával.) *Schmidt Sándortól.* — II. Kristálytani és optikai vizsgálatok az aranyhegyi Amphibolon. (Egy képtáblával.) *Franzenau Ágostontól.* — III. Értekezések a myo-mechanika köréből. *Jendrassik Jenőtől.* — IV. Helyreigazító



# ÉRTEKEZÉSEK

## A TERMÉSZETTUDOMÁNYOK KÖRÉBŐL.

KIADJA A MAGYAR TUD. AKADÉMIA.

A III. OSZTÁLY RENDELETÉBŐI.

SZERKESZTI

SZABÓ JÓZSEF

OSZTÁLYTITKÁR.

AJÁNDÉK

XANTUS JÁNOS

hagyatékából.

### A HANGATTÉTELLEL ELŐIDÉZETT HANGIDOMOKRÓL KIFESZÍTETT REZGŐ HÁRTYÁKON ÉS ÜVEGLEMEZEKEN.

ANTOLIK KÁROLY,

gymn. tanártól, Aradon.

(Olvastatott a III. osztály ülésén 1889. máj. 20.)

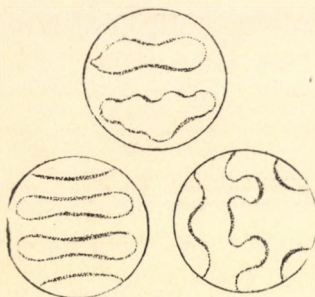
Chladni, Marx, Savart és Faraday sokat foglalkoztak úgy a szilárd rezgő lemezekkel, mint a kifeszített rezgő hárttyákkal is, de saját bevallásuk szerint, nekik nem sikerült ez utóbbiakat eléggé szabályos rezgésbe hozni. Muncke, ki a hárttyákra vonatkozó régiebb ismereteket összegyűjtette, kritikailag tárgyalta és maga is sokat kísérletezett, a nyert eredményekről egészen leplezetlenül a következőket írja: <sup>1)</sup> «Allein, wie anhaltend auch mein Bemühen war, so konnte ich doch auf der Aeoline <sup>2)</sup> ausser dem vom Erfinder (Marx) erwähnten Schnarren, keinen Ton damit hervorbringen . . . . Einige Male glückte es mir jedoch ganz eigenthümliche, hinlänglich kenntliche und scharf begrenzte Figuren zu erzeugen, deren Gestalt mit sehr geringen Abweichungen auf die in der Zeichnung mitgetheilten zurückkommen.» A rajzokat, érdekességöknél fogva és hogy hosszadalmas leírásukat kikerüljem, ide mellékelem (1-ső ábra).

<sup>1)</sup> Gehler's phys. Wörtl. VIII. pag. 225.

<sup>2)</sup> Aeoline (hárttyakészülék), melynek leírását és rajzát a Gehler's phys. Wörtl. VIII. és a Melde «Akustik» című munkájában (115. l.) megtalálhatjuk.



A régibb kísérletezők közül Savartot még külön kell említenem, mivel ő a hárttyákat az által tudta rezgésbe hozni, hogy homokkal behintett felületük fölött erősen hangzó hangvillákat vagy sípokat tartott. (Resonanzmethode.) Az általa nyert hárttyahangidomokat összeállítva találjuk a Müller-Pouillet<sup>1)</sup> fizikájában. Itt azonnal meg kell jegyezni, hogy e hangidomok ideálizálva vannak s hogy az igazságnak meg nem felelnek. Különben a Savart által nyert eredményekre néze úgy W. Weber,<sup>2)</sup> valamint Bourget<sup>3)</sup> és Melde<sup>4)</sup> ítéletei sem kedvezők. E szerint Savart ide vágó kísérleteire nagy súlyt nem fektethetünk. A rezgő hárttyákra vonatkozó újabb anyagot legjobban



1. ábra.

összegyűjtve találtam Meldének a már említett «Akustik» című munkájában. Melde egész lelkesedéssel ír a hárttyákról és hét ábrát is mellékel, melyek azonban csak egy vagy két vonalból állanak s így nem közelítik meg a hárttyák rezgéseinek valódi lényegét. Melde a hárttyákra vonatkozó fejezetét a következő fontos megjegyzéssel végzi:<sup>5)</sup> «Was die Longitudinalschwingungen der Membranen anlangt, so leuchtet ein, dass auch diese

existiren. Denn es ist denkbar, dass z. B. bei einer Kreismembran in der Richtung der Radien die Erschütterungen stattfinden. Poisson hat diesen Fall auch theoretisch behandelt, *doch liegt das Experimentelle noch sehr dar-nieder.*» — (Talán nem lesz érdektelen itt felemlíteni azon feltűnő körülményt is, hogy a «Sachregister zu d. Ann. d. Phys. u. Chemie Poggendorff'sche Folge 1824—1877» szerint, az összes 169 kötetben — 53 év lefolyása alatt — a rezgő hárttyákra vonatkozólag egyetlenegy értekezés sem fordul elő.)

<sup>1)</sup> Müller-Pouillet 1886. I. pag. 792.

<sup>2)</sup> Schweigger-Seidels Journal, Bd. 14., 15. 1825.

<sup>3)</sup> Bourget «Sur les vibrations des membranes carrées». Ann. de chim. et de phys. T. 60. 1860.

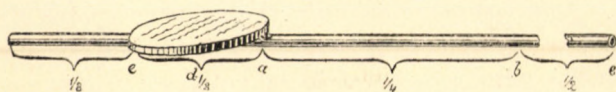
<sup>4)</sup> Melde. Akustik 1883. pag. 129.

<sup>5)</sup> U. az. pag. 133.



Ezek után áttérek saját kísérleteimre.

Az 1888-ik év december hó 18-án elővettem egy nagy (34 cm. átm.) fagyűrűt, melynek mindkét oldala hólyagpapírral be volt ragasztva, hogy a kitűnően kifeszített hárttyákon néhány kísérletet tegyek rezgő üvegesövekkel. A fagyűrű karimájára kis parafadugót ragasztottam s arra helyeztem a dörzsölendő, körülbelül egy ujjnyi vastag és 132 cm. hosszú üvegesövet akképen, hogy súlypontja a dugó közepére essék. Behintvén már most a hárttyát finom homokkal s leszorítván balkezem mutatóujjával az üvegesövet, a kiálló végét vizes flannellel dörzsöltem, mi által hangidomok nyomai hiányosan képződtek. Mivel tehát az idom nem volt eléggé éles, kénytelen voltam másnemű porokat is használni. Ez utóbbiak közt igen jónak bizonyult be a lykopo-dium és az elefántcsontpor, melyet esztergán elesett forgácsokból dörzscsészében zúrtam össze. (Fehér porokat azért kellett hasz-



2. ábra.

nálnom, mivel a hárttya feketére be volt festve.) Kutatásaim közben csakhamar rájöttem, hogy *valamely könnyű papírhárttya igen biztosan adja a rezgő üvegesőnek megfelelő hangidomokat, ha azt az üvegesőnek a pontjában pecsétviaszszal akképen illeszttem oda, mint ez az ide mellékelt 2-ik ábrából kitetszik* (2-ik ábra), *és ha aztán a csövet, b pontjában alátámasztván, vizes flannellel dörzsölöm.* Ez utóbbi eljárásom közben csakhamar azt is kellett tapasztalnom, hogy az üvegesőnek erősebb dörzsölésekor a vékony hárttya, mely most már közönséges fekete papírból készült, *fülhasító és sajátságosan csirrenő hangzásba jön, a mikor is a rajta levő por, hevesen felkavarodva, az egész hárttyán egyenletesen oszlik szét.* Azonban kis figyelemmel könnyű meggyőződhetni, hogy a por most sem oszlik el szabálytalanul, hanem hogy az néhány körben, melyek jobbra-balra ingadozni látszanak, köralakú foltocskákba szedődik össze.

Visszatérvén most az előbbi kísérletezési módra, a nyert eredményekkel már-már meg is voltam elégedve, *midőn egy erő-*



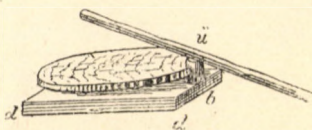
sebb dörzsölésre a balkezemben levő nedves üvegső megcsúszott és surlódván a dugóhoz, egyszerre igen magas hang keletkezett, a hártyán pedig gyönyörű hangidomok nyomai mutatkoztak. Fellelkesülvén a meglepő tüneményen, kísérleteimet minduntalan módosítottam. Másnap már 4 különböző alakú és nagyságú papírhártyát készítettem, melyek az ugynevezett «satiné» papírból állottak s mint ilyenek továbbra is igen jóknak bizonyultak. Ma már 30, sőt 50 ezer rezgési számnak megfelelő hangidomokat állítok elő és pedig igen könnyű módon és teljes biztossággal. Két vagy három milliméternyi távolságban egymás mellett fekvő interferenz-vonalak előállítása, melyek megfelelő hangja már nem is hallható, a könnyű kísérletek közé tartozik, mert a hártyák épen a legmagasabb rezgések felvételére legalkalmasabbak. Valamely 400 milliméter oldalhosszal bíró, négyzet alakú s vékony hártyán nem csak lykopodiummal, de finom homokkal is lehet 112 egymással párhuzamosan futó interferenz-vonalat előállítani. Az alkalmazott porok oly kevés vonalakban s oly rendkívüli szabályossággal helyezkednek el egymás mellé, mintha csak aczéltollal volnának odavésve a hártya fekete felületére.

A készülék igen egyszerű s alig kerül néhány krajczárba. A szóban levő czélra igen alkalmasak a vaspléhből, vagy horganylemezekből kivágott gyűrűk, üvegtölcsérek és széles fémhengerek. Azonban a fagyűrű is igen jó szolgálatokat tesz és mivel könnyen megszerezhető, azért azt írom le úgy, a mint rendszeren használok. A finom satiné-papírt a fehér oldalán kissé nedves flannellel gyorsan meg kell dörögni két egymásra függélyes irányban, de óvakodnunk kell a túlságos megnedvesítésétől, mert ez feloldja a túlsó oldalon levő festéket s ekkor a hártya csunya, foltos és érdes lesz. Ha a papír a kellő módon meg van nedvesítve, akkor azt a fekete felületével tiszta és e czélra már előre az asztalon fekvő itatós-papírra teszszük, gondoskodva arról, hogy meg ne ránczosodjék, miért is a megnedvesített papírt még egy ív itatós-papírral fedjük be és az egészet egy, már a kéznél levő és kellő nagyságú üveglemezzel terheljük meg. A papír megnedvesítése előtt az enyv (mert ez legalkalmasabb) már híg állapotban legyen. Most az enyvvel gyorsan bekenjük az illető keretet, valamely kemény ecset segítségével, lehetőleg egyenletesen, és gon-



doskodunk arról, *hogy az enyv a keret belső szélén fel ne halmozódjék*, mert ez által a hártya ránczossá és hasznavehetetlenné válik. Ha ez megtörtént, akkor a megnedvesített papírról le-emeljük az üveglemezt és a felső itatós-papírt s rányomjuk a keretet. Azután következik azon munka, mely legtöbb óvatosságot igényel. U. i. a hártyát most gyorsan fel kell fordítani és a dolgozó asztalra úgy elhelyezni, hogy a fekete felületéről reflectált fény szemünkbe essék. Most tiszta kézzel gyorsan kisimítjuk a ránczos részleteket, igyekezvén a hártyának lehetőleg egyenletes feszültséget adni, végre újra ráfordítjuk az asztalon fekvő száraz itatós-papírra s ekkor a keretet 10—12 kgr. súlylyal megterheljük. Három vagy négy percz múlva a hártyát megint előveszszük és a keret belső szélét ujjunkkal megsimogatjuk, hogy tökéletesen oda illjék a kerethez. Az így készített hártyákon nem lesznek ránczok.

A hártya keretét már most pecsétviaszszal be kell illeszteni a *b* parafadugó oldalába (3-ik ábra) úgy, hogy a hártya a *dd'* másfél deciméter széles deszkácskával és az asztallal párhuzamos legyen. A parafadugónak felső része csak néhány milliméterrel emelkedik ki a hártya fölött. Behintvén most a hártyát valamely porral, a dugó felső részét *ü nedves üvegsővel* gyöngén végig súroljuk. *E pillanatban igen magas hang és annak megfelelő szabályos hangidom keletkezik.* Már ezen egyszerű módon képesek vagyunk valamely két deciméter átmérőjű körhártyán 20—26 concentrikus és rovatkás kört előállítani.



3. ábra.

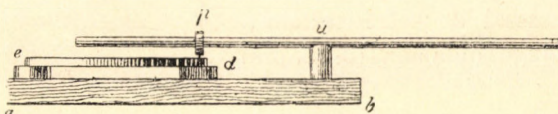
*Ezek az új hangidomok nem a kereszt-, hanem a hosszrezgésekből erednek;* egészben véve pedig valamely kereszt-pók hálójának szövetére élénken emlékeztetnek.

Minthogy ezen hangidomoknál az interferenz-vonalaknak egymástól való távolsága, azaz a félhullámhossz adva van, az ismeretes  $n=c:\lambda$  képlettel könnyen kiszámíthatjuk, hogy itt csakugyan igen magas rezgésű hangokkal van dolgunk.

Ezek voltak a legelső kísérleteim. Azután igyekeztem kellett a hártyák szeszélyeit kipuhatolni és az állandóbb hangoknak megfelelő idomait keresni. Hogy ezt elérjem, nagy bizalommal



fordultam az üvegsövekhez, abban a meggyőződésben, hogy azok szabályos hosszrezgései eléggé alkalmasak lesznek a leg-állandóbb hangok tetszés szerinti időben való létrehozására. Kísérleteim mindinkább érdekesebbekké váltak, de nagy sajnálattal azt kellett tapasztalnom, hogy az üvegsövek hangjai is változékonyak. Azt eleinte hallásommal megítélni nem tudtam, de egy és ugyanazon hártván néhány pillanat múlva ujonnan létrehozott hangidomok csakhamar figyelmeztettek, hogy föltevésem alaposan téves. Sehogyan sem tudtam megérteni, hogy pl. egy és ugyanazon hangnak megfelelőleg 2—3 interferenz-vonala több vagy kevesebb legyen. Hogy tehát a kísérletezési hibáktól lehetőleg ment legyek, további kutatásaimat a következő módon folytattam (4-ik ábra). Az *ab* asztal szélére *b*-nél egy parafadugót ragasztottam s arra *ü* üvegsövet pecsétviaszszal állandóan illesztettem. Azután az üvegső kellő pontjára, mely t. i. a legal-



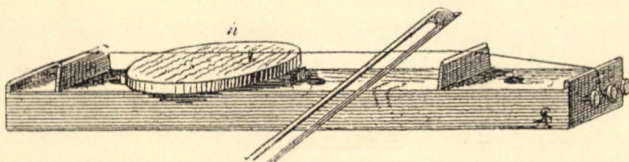
4. ábra.

kalmasabbnak mutatkozott, kis parafagyűrűt *p* szorítottam s ez utóbbiba egy vastag varrótűnek 10—12 milliméter hosszú végét pecsétviaszszal erősítettem akképen, hogy azt a hártva keretének mindig egy és ugyanazon pontjába lehetett szúrni. Könnyű belátni, hogy most az eredmények kielégítőbbek lettek; mindamellett még így is megesett, hogy néhány perc múlva  $\frac{1}{2}$  hullámmal több vagy kevesebb volt a hártván. Ennek okát a hőmérsék változásában kell keresnünk, mely által az üvegső hossza s így hangja is változik; ez pedig kikerülhetetlen, mivel a nedves üvegsőről a víz párolog s ez által hőmérséke folyton változik. Megesik az is, hogy c. p. egy óra múlva az éles interferenz-vonalak foszlani kezdenek s most egyszerre pl. 15 vonal helyett 30-t kapunk. Ez azonban nem baj, mert ez csak arra mutat, hogy a hangzó cső most a neki megfelelő magasabb fülhangra alkalmasabbá vált, mely eddig nem érvényesült. Erre az érdekes tüneményre alább még visszatérünk. Itt még csak azt akarom megjegyezni, hogy a hártvák egyáltalában annál érzéke-



nyebbek a rezgések felvételére, minél magasabbak az illető hangok s lehet, hogy az alaphangnak megfelelő fölhangját nem is halljuk, azt a hártya mégis jezli. Ez a tünetény szem előtt tartandó, mert könnyen tévutra vezethet bennünket.

Az eddig nyert eredmények által buzdítatva, a húrokhoz fordultam. E célra a monochord eléggé alkalmasnak látszott, de meg kell vallanom, hogy a dolog nem oly könnyű volt, mint gondoltam. Csak most látom, hogy miért nem sikerült azon kitűnő kutatóknak, kik e tárggyal olyan kitartóan foglalkoztak, a hártyákat kellően rezgésbe hozni. Ők először is abban tévedtek, hogy aránylag vastag s többnyire kis hártyákat használtak, másodszor pedig, hogy figyelmük főképen a hártyák önrezgéseire (Eigenschwingungen) irányult és harmadszor abban, hogy a kísérletezést az alsóbb hangoknál kezdték meg. Talán sohasem



5. ábra.

jutottam volna az alább előadandó eredményekre, ha a véletlenség nem vezetett volna legelőször a legmagasabb hangokra. Csak azok tanulmányozása és a biztos meggyőződés, hogy a problema megoldható, vezetett sikerre. De térjünk vissza a tárgyhoz.

Néhány órai hasztalan kísérletezés után kezdtem észrevenni, hogy a célt majd csak akkor érem el, ha a monochord húrját igen erősen meg fogom feszíteni, mit azonban a rendelkezésemre álló monochordon nem lehetett tenni, mivel úgy a nyergek, valamint az oldaltámaszok is elefántcsont élekkel vannak ellátva és ezek már a mérsékeltbb feszítéseknel pattogzani kezdtek. Elővettem tehát egy fél méter hosszú és 5 centiméter vastag deszkát s arra feszítettem ki, két erős s átlukasztott fejjel bíró aczélesavar segítségével, egy milliméternyi vastag aczélhúrt, melyet egészen  $e^4$ -ig sikerült felhangolnom. Néhány napi kutatás után sikerült végre a legjobb átviteli módnak megállapítása s ekkor visszatértem a monochordhoz.



Jónak bizonyult be a következő módszer: a monochord húrjára egy kis kúpalakú parafadugócskát ragasztottam pecsétviaszszal s alája *h* hártját illesztettem. (5-ik ábra.) A kísérletek eredményei különösen a köralakú hártyakon kielégítőek és a módszer leginkább ajánlatos, mivel a hártya bármely pontjában könnyen megtámadható, mi azonban az idomokra nézve csak alárendelt jelentőséggel bír.

Ha valamely hártját mindig egy és ugyanazon pontból, pl. a középpontból akarunk rezgésbe hozni, akkor leghelyesebben cselekszünk, ha a kis parafakúpocskát enyvvel (vagy diachylum flastrommal) a hártvához ragasztjuk. Ezen fogással azt érzük el, hogy a húr híven magával ragadja a hártját és hogy az egyes rezgések ki nem maradhatnak. A homokot a hártváról mindig le lehet fújni és a kísérletezést mindennemű változás nélkül szakadatlanul folytatni.

Nem sokára megint azt kellett tapasztalnom, hogy itt is a határozott hang, melyre épen szükségem volt, folytonosan változott. Ennek okát első sorban a hőmérsék változásában és a monochord gyöngye szerkezetében kell keresnünk. De van még más baj is, t. i. hogy a hártya keresztrezgéseire igen könnyen egyidejű hosszrezgések vegyülnek. Erre a körülményre nagyon vigyáznunk kell, mert módosítja az idomokat. Hogy vajjon kereszt- vagy hosszrezgésekkel van-e dolgunk, könnyen felismerhető az által, hogy a keresztrezgéseknél a homok függélyesen fölfelé ugrik és «rezgési középpontok», illetőleg «rezgési középvonalak» mutatkoznak, holott azok a hosszrezgéseknél teljesen hiányzanak és a por lassan huzódva tovább sálik.

A zavarok még az által is keletkeztek, hogy a hegedűvonóval sohasem birtam teljes pontossággal a húrnak egy és ugyanazon helyét dörzsölni, mi által hangja, gyakran észrevehetetlenül ugyan, de mégis változott. Ezen bajon részben az által segítetttem, hogy igen keskeny nyirettyűt használtam és a húr mellé egy ólomdarabból készült villaszerű eszközt helyeztem, melyet könnyen ide-oda lehetett tolni, de a mely saját súlyánál fogva a vonó által helyéből ki nem mozdítottatott.

Igy küzdöttem a húrokkal hetekig azon szándékkal hogy, ha már az idomokból a rezgési számnak biztos meghatározása nem fog is sikerülni, legalább a főidomok valami alkatbeli össze-



függésének nyomára jussak. A nyert eredmények alapján mindinkább meggyőződtem, hogy a kitűzött feladatomhoz közeledek s azért fokozott buzgalommal igyekeztem a nagy számú idomokból, melyeket folytonosan és híven lerajzolgattam, a törvényszerűséget levezetni, illetőleg mindazokat néhány alapidomra visszavezetni. *Végre rájöttem, hogy itt csak egyetlenegy törvény van, t. i. az, hogy az interferenz-vonalak mindig két egymásra függőlegesen álló főirányban igyekeznek kifejlődni, habár a hárták kör-négyzet-, vagy bármilyen más alakkal bírnak is — és hogy az idomok egy mértani alapalakra vezethetők vissza.* A rendszert, melyet az idomokon kipuhatolnom sikerült, egyszerűen «*Oszlási rendszer*»-nek nevezem.

A kiindulási alapidomok keresésekor négy gyűrűt vastag horganypléhből használtam, melyek belső átmérője 132, 150, 180 és 196 millimeternyi volt. A dörzsölési, vagyis a támadási pontot, a hol épen szükséges lesz, mindig *d*-vel fogom jelölni, ámbár ez, mint már említettem, csak alárendelt fontossággal bír. A hártya mindig a húr alatt két ékalakú parafadugón feküdt s ezek által kellően szorítottatott a húrhoz (lásd az 5. ábrát). Az idomok mind igen finom tengeri homokkal állítottak elő, melyet *régi vászonrongyon* keresztül hintettem a hártákra. A lykopodium csak itt-ott ellenőrzés végett szerepelt. Ugy hiszem, hogy az egyes idomoknak hosszadalmas leírása fölösleges volna, mert az ide mellékelt rajzok egészen világosan szólnak.

#### A hangidomok oszlási rendszere.

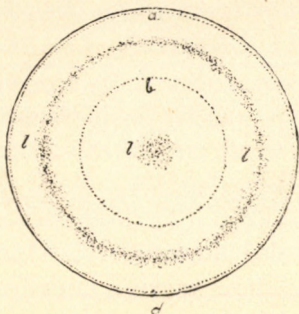
A 6-ik ábrán két koncentrikus kört látunk (*a* és *b*), az egyik a hártya szélén, azaz közvetlenül a fémgyűrű mellett van, a másik pedig körülbelül a sugár közepén mutatkozik, de a mint a hang változik, kisebbre is szorúlhat vagy kitágulhat, sőt bizonyos mély hangoknál teljesen elenyésczik. Ez utóbbi esetben a hártya egészben rezeg, a homok ledobatik és csak a szélén levő kör marad meg egyedül rajta. Ha a homok kissé poros, vagy ha lykopodiummal van keverve, akkor az *l*-el megjelölt helyeken elmosódott szabályos körvonal: «*rezgési középvonal*» és a hártya közepén köralakú foltocska: «*rezgési középpont*» fejlődik ki.



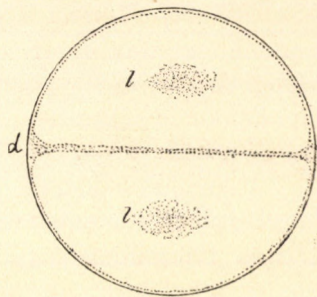


Mint látjuk, a lykopodium mindig oda fog tódulni, a hol a rezgés leghevesebb. E pontokat és vonalakat csak néhány alaknál veszem be a rajzba, ugysis csakhamar rájövünk, hogy hol képződnek ezek következetesen.

**A kettős-oszlás.** A 7-ik ábrán két félkört látunk, melyeknek átmérői a hártya közepén összeérnek és egymás mellett párhuzamosan futnak. (A kísérlet alkalmával a dolog úgy tűnik föl, mintha a mozgás az *l* és *l* rezgési középpontokból indulna ki

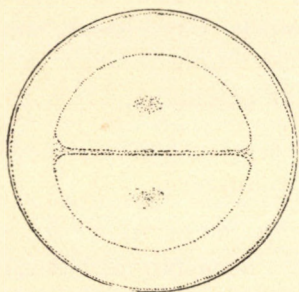


6. ábra.

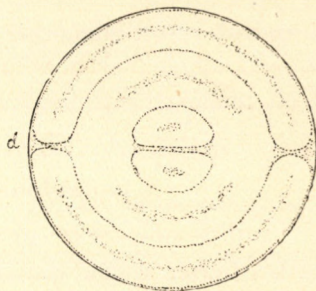


7. ábra.

zamosan futnak. (A kísérlet alkalmával a dolog úgy tűnik föl, mintha a mozgás az *l* és *l* rezgési középpontokból indulna ki



8. ábra.



9. ábra.

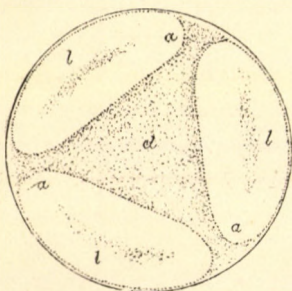
s minden irányban szétterjedne. (Ez a felfogás sok esetben könnyű tájékozást nyújt s érthetőkké teszi a komplikáltabb hangidomokat is.)

Az ide mellékelt hangidomot «*kettős-oszlási, elsőrendű*» alaknak nevezhetjük és Chladni módja szerint így jelölhetjük: 2.<sub>1</sub>.

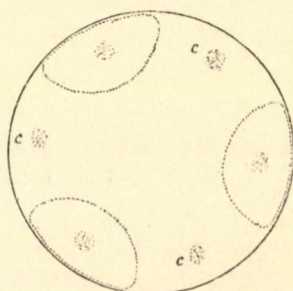


A hang emelkedésével keletkezik a 8-ik ábra (kettős oszlási, másodrendű alak; röviden: 2.<sub>2</sub>); épen így áll elő a 9-ik ábra is, ha a hang még inkább emelkedik (kettős-oszlási, harmadrendű alak; röviden: 2.<sub>3</sub>). — Hogy ezen oszlásnál lehetségesek-e magasabb rendű alakok is, vagy nem, kipuhatolni nem sikerült.

A hármás oszlás. A 10-ik ábra csak ritkán áll elő s tulajdon-

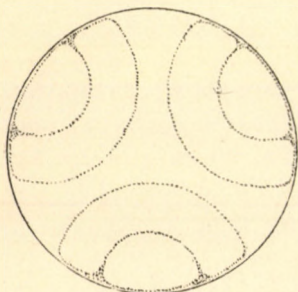


10. ábra.

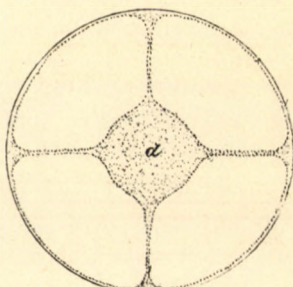


11. ábra.

képen még csak keletkezésben van, mert a keskeny részletei *aaa* csak hamar megszakadoznak s ekkor tompa csücsokkal bíró háromszög tűnik föl, mely azonban hirtelenül oly körré változik,



12. ábra.



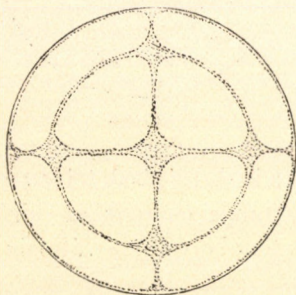
13. ábra.

mint az a 6-ik ábrán látható. A sajátos változások oka csakis észrevehetetlen hangátmenetekben keresendő. Ez idomot nem mellékeltem volna ide, ha a hármás-oszlásra nem emlékeztetne, de a mely oszlás nézetem szerint nem is létezik. Már a 11-ik ábra, mely szintén háromoszlásúnak látszik, mutatja, hogy itt a hatos-oszlás érvényesül, mert az idomon, ha a homok-

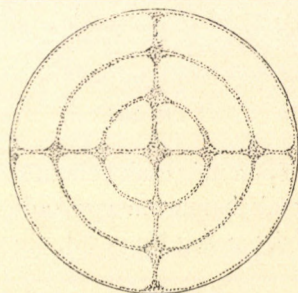


hoz lykopodiumot keverünk, 6 rezgési középpont képződik. Ez idom még azért is igen fontos, mert itt először észlelhetjük, hogy a *ccc* rezgési középpontok fölötti interferenz-vonalak lát-szólagos ok nélkül elmaradtak. Ugyanez áll a 12-ik ábráról is, mely azonban magasabb hangnak felel meg, mint az előbbi.

**A négyes-oszlás.** Most következnek oly idom, melynél négy körív kezdődik, de ilyet nem láttam, azért nem is mellékelem ide, a helyett azonban a 13-ik ábra gyakran mutatkozik. Ennél a körívek már érintkeznek egymással. A négy körszelet csúcsai közelebb is eshetnek a hártya középpontjához, úgy hogy az idom majdnem egy teljes keresztet tüntet föl (4.<sub>1</sub>). A hang emelkedésével kifejlődik a 14-ik és a 15-ik ábra (4.<sub>2</sub> és 4.<sub>3</sub>).



14. ábra.



15. ábra.

Feltűnő az, hogy a köralakú hangidomoknál a középpont-hoz közelebb fekvő körszeletek (félhullámok) hosszabbak, mint az utánok következők. Egy pillantás a 20., 30. és 32-ik ábrákra a mondottakat érthetőbbé teszi. A tüneménynek valódi okát kipuhatolnom nem sikerült, de valószínű, hogy itt egy concentrikus körvonal kimaradt.

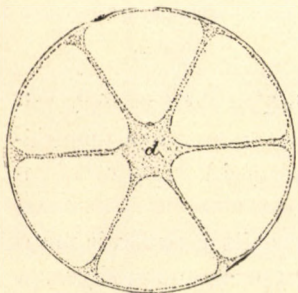
Érdekes az is, hogy némely köralakú idom négyeszegetes hártján is előállhat; ilyen pl. a 13-ik ábrán látható idom, mely egy 280 mm. oldalhosszal bíró négyeszegetes hártján többször egymásután keletkezett, még pedig oly esetben, midőn a dörzsölési pont nem a hártya közepén, hanem annak szélén volt. Ekkor ez idom középső területe igen kicsinyre szorult és a külső kör vagy 40 milliméterre távozott a hártya keretétől, de utána másnemű vonalak nem mutatkoztak.



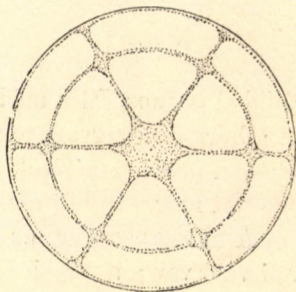
Ezen oszlásnál 5 concentrikus kör könnyen előállítható (4.5) — talán több is —, nekem azonban nem volt alkalmam ilyeneket láthatni, azért ábrát nem mellékelhetek ide.

Úgy hiszem, hogy az eddigiekből az idomok törvényszerű kifejlődését már sejteni lehet, de a dolog még világosabbá válik, ha szem előtt tartjuk azt is, hogy némely idomnak középpontja a hártya szélére esik, a mikor is az interferenz-vonalak ezen pont körül concentrikus félkörökben rendezkednek el. Ilyen kiindulási pont a hártya szélén olykor több is lehet, mi által a tűnemények nagyon módosulnak.

Ez után következne az ötös-oszlás, *de nagyon valószínű, hogy ilyen sem lehetséges*, — egyáltalában páratlan számú oszlást



16. ábra.



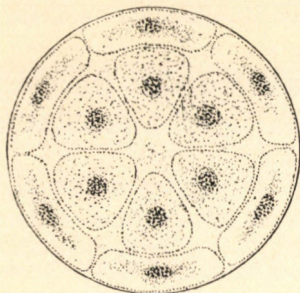
17. ábra.

biztosan létrehoznom nem sikerült, ámbar többször láttam olyan idomokat, melyeknél a páros számú oszlást sehogyan sem tudtam kivenni. Ilyen pl. a 36-ik és 37-ik ábra. Azonban nem szabad elfelejtenünk, hogy vannak keresztrezgési hangidomok, melyeknél bizonyos vonalak csak hiányosan fejlődnek ki, vagy el is maradnak egészen, mi által természetesen a szomszédvonalak módosulnak s így látszólagos szabálytalanságok vegyülnek a dologba. Erről majd a 8-as oszlásnál bővebben szólnunk.

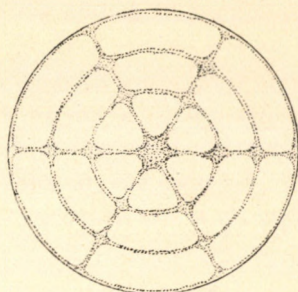
A hatos-oszlás az ide mellékelt 16., 17., 18., 19. és 20-ik ábrákból magyarázat nélkül is megérthető. Itt még egy szabálytalan alakot is kell a többiekhez csatolnom. A 21-ik ábrán láttunk egy ilyen. Első pillanatra alig tudjuk tájékozni magunkat, hogy minő oszlással van dolgunk, de képzeljük csak az *mm'*



és  $m''m'''$  pontokat egymással befelé haladó körívek által összekötve, továbbá az  $n$  pontnál történt vonalugrást  $m'm''$  felé visszaterelve és helyezzük egyúttal a rezgési középpontokat is az idomba, akkor azonnal be fogjuk látni, hogy a 21-ik ábra a



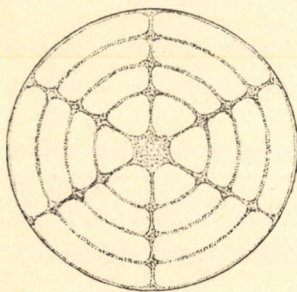
18. ábra.



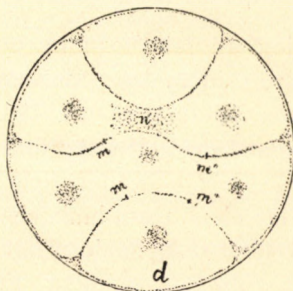
19. ábra.

16-ikkal azonos. Itt a módosulás valószínűleg azért történt, mivel a hártya — ugyanazon hang mellett — nem a középpontjából, sem pedig a széléről, hanem a  $d$  rezgési középpontból rezgettetett meg.

**A nyolczas-osztlás.** Az idomokra nézve itt csak kevés mondani való van; a 22-ik és a 23-ik ábra egészen szabályos, a



20. ábra.

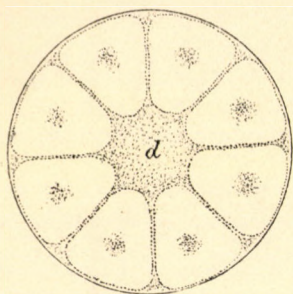


21. ábra.

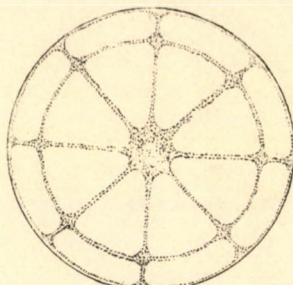
24-ik pedig egy tiszta Savart-féle (másodrendű) légalakot mutat, azaz olyant, melynél csakis a lycopodium szerepelt és így az interferenz-vonalak háttérbe szorultak. Ezen idom nincsen ideálizálva, hanem híven a természet után van rajzolva; azért



tartottam szükségesnek ide mellékelni, mivel általa be van bizonyítva, hogy az úgynevezett «másodrendű» alakok is az általános oszlási szabálynak hódolnak. Következtethetjük ezt a nyolcz köralakú foltból, melyek mindegyike számtalan apró porcepp-

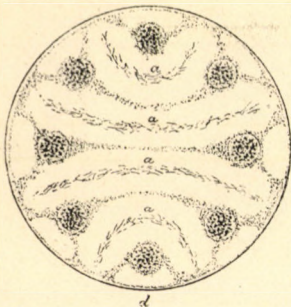


22. ábra.

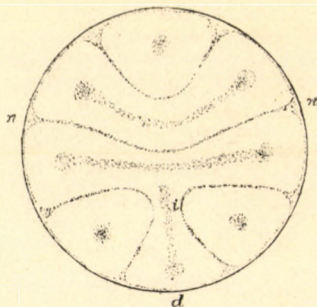


23. ábra.

ből áll, míg a foltokat összekötő vonalak tulajdonképpen a rezgési középvonalak. A mi végre a négy göndörös szalagot illeti (aaaa), melyek hyperbolikusan metszik az idomot, ezekről azt kell mondanunk, hogy az interferenz-vonalak nyomai, melyekre homok rakodott volna le, ha azt a lykopodiumhoz kevertük volna. A mellette levő 25-ik ábra c. p. homokkal állítatott elő.



24. ábra.

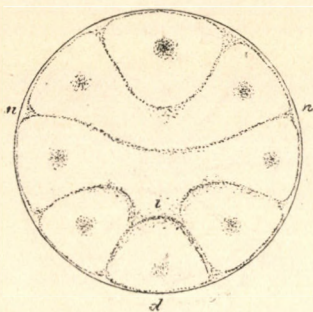


25. ábra.

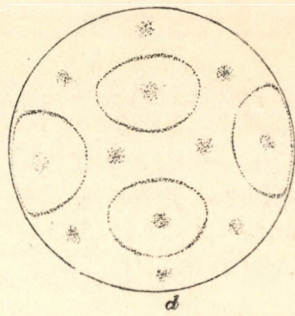
Mindkét és a következő négy idomot (26., 27., 28., 29-ik ábra) egy 157 milliméter átmérőjű üvegtölesérrre felragasztott hártján, kis parafadugó és dörzsölő üvegcső segítségével hoztam létre. Változtatva a dörzsölés erősségét, változott a hang és így az



idomok is, melyek közül a legjellemzőbbeket ide mellékeltem. A 25-ik ábrára vonatkozólag még azt is meg kell jegyeznem, hogy annak *i* pontjánál *vonalu*grás történt, mely a 26-ik ábrán megint a maga rendes helyén található. Igen tanulságos vonal-

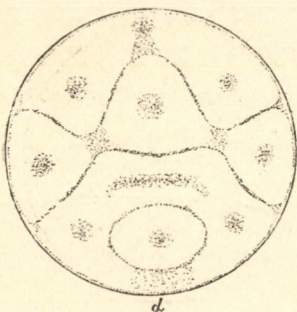


26. ábra.

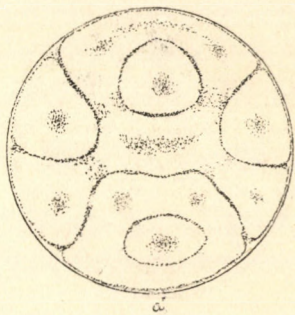


27. ábra.

ugrás az is, mely a szóban levő két idomnál az *nn* vonallal történt. Ha ezen vonal szétszakad és a maga rendes helyére tér vissza, úgy mint ez a 26-ik ábrának *i* pontjánál látható, akkor mindkét idomból a 22-ik ábra teljes szépségében áll elő. Végre nem hagyhatom említés nélkül azt sem, hogy a 25-ik ábránál *öt*, a 26-iknél pedig *négy i* vonal maradt ki az idomból. A fel-



28. ábra.



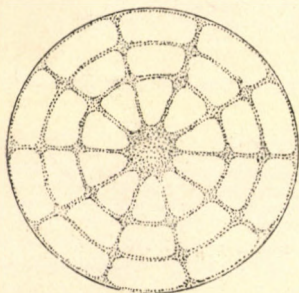
29. ábra.

sorolt tünetények még szembetünőbbekké válnak a 27., 28. és 29-ik ábránál.

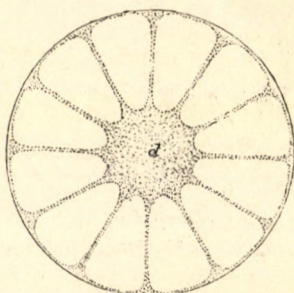
A nyolczas-oszlásig a küllőket, hogy röviden fejezzem ki magamat, többnyire könnyen és tisztán lehet előállítani; a tizes-,



tizenkettős- . . . . . huszas stb. oszlásoknál azonban a küllők mindinkább nehezebben és ritkábban fejlődnek ki tisztán, de most annál szebbekké válnak a koncentrikus körök, melyek mindig azon helyeken kis bevágásokkal bírnak, illetőleg rovatkások lesznek, a hol a küllőknek kifejlődniök kellett volna.

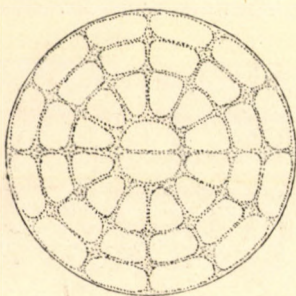


30. ábra.

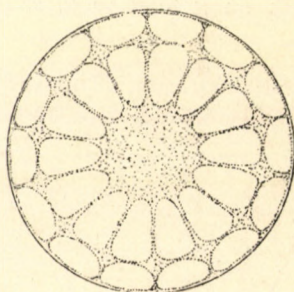


31. ábra.

Hogy fölsőleges munkát ne végezzek, a többi oszlásoknak megfelelő idomait mind nem mellékelem ide, hanem csak itt-ott választok ki példaképen egynehányat, melyeket létrehoznom és a természet után lerajzolnom sikerült. (30—34-ik ábra.)



32. ábra.

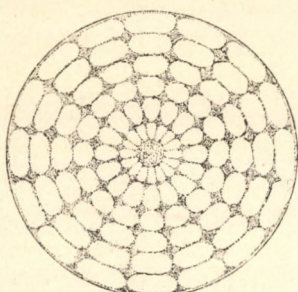


33. ábra.

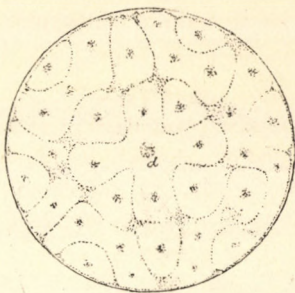
A küllők számát eddig 72-ig sikerült nyomoznom, de nem tisztán előállítanom, holott a koncentrikus körök számát némi nehézségekkel 50-re vittem fel. A négyszegletes hártványokon az egymással párhuzamosan haladó interferenz-vonalak számát 112-ig fölvenni nem nehéz. (A hártva 400 mm. oldalhosszszal bírt.)



A 35-ik ábra, melyet már a szabálytalan idomokhoz kell sorolnunk, azért igen fontos, mivel itt *háromféle* oszlásnak nyomaira akadunk. Sokkal nehezebb a 36., 37. és 38-ik idomnak



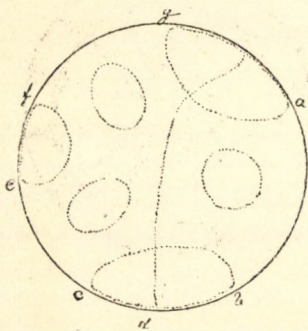
34. ábra.



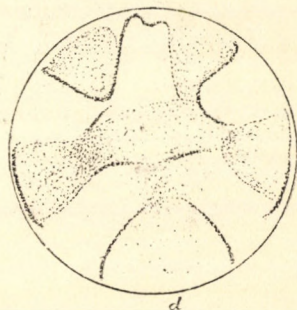
35. ábra.

oszlását meghatározni, mivel ezeknél sok vonalugrás és vonalkimaradás is történt. A 36-ik idomnál a 8-as és a 12-es oszlás érvényesülni látszik; a 37-iknél a hullámfoszlás teljesen megzavarja a tűneményt; a 38-iknél pedig a 24-es oszlásnak nyomaira akadunk. Vannak olyan idomok is, melyeknek oszlását meghatározni nem lehet.

Helyén volna most elősorolnom, hogy melyik alaknak melyik hang felel meg, s ez mindenesetre munkámnak legérde-



36. ábra.



37. ábra.

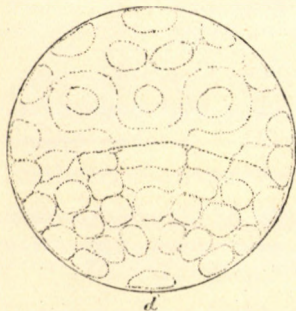
kesebb részét képezné, de az eddig nyert adataim olyan bizonytalanok, hogy, ámbár jegyzeteimben többnyire meg vannak jelölve a hangok, mégsem merem azokat nyilvánosságra hozni,



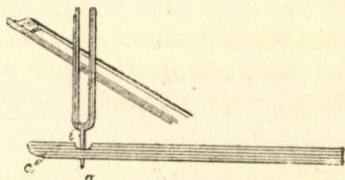
s azt addig nem is fogom tehetni, míg teljesen megbízható készülékekkel nem fogok rendelkezni.

Most áttérek a **négyzet alakú hártyákra**, mint olyanokra, melyeken az interferenz-vonalak legszabályosabban kifejlődhetnek, és az idomok a mennyiségtani tárgyalásra is legalkalmasabbak. Mindenek előtt meg kell jegyezni, hogy itt különös figyelmet kell fordítanunk a kereszt- és a hosszrezgések megkülönböztetésére, mert míg az előbbi hangidomoknál leginkább a keresztrezgés érvényesült, most mindinkább a hosszrezgés lép előtérbe, vagy mindkettő belevegyül a kísérletbe. Továbbá meg kell említenem, hogy a négyzet alakú hártyákon, az alsóbb hangoknak megfelelő idomok, a húrok segítségével csak igen nehezen állíthatók elő. Monochorddal és 3 méter hosszú, vastag acélhúrral, mely hatalmasan ki volt feszítve, a meg-

hatók elő. Monochorddal és 3 méter hosszú, vastag acélhúrral, mely hatalmasan ki volt feszítve, a meg-



38. ábra.



39. ábra.

ejtett kísérletek azt tanúsítják, hogy a kellő hangidomok csak akkor állanak elő, ha a hang igen tiszta, miért is a húrt valamely zöngére óvatosan hangolni kell.

Mintegy tehát a rezgő húrokkal a czélt csak nagy óvatsággal és sok fáradsággal lehetett elérni, más módot is kerestem s ezt annyival inkább, mivel a húrok szabályos megzendítése és a rokon fölhangok legyőzhetetlen nehézségeket okoztak. Az új mód abban állott, hogy a kezemnél levő chromatikus hanglejtőnek 13 hangvilláját vettem elő s mindazokat és még 8 más hangvillát különböző faléczekbe erősítettem meg akkép, a mint ez az ide mellékelt 39-ik ábrán látható. Most a falécznek  $o'$ , vagy pedig a hangvillának  $o$  pontját a hártya keretének azon pontjára nyomtam erősen, melyről előleges keresés után kitűnt, hogy a hártya megrezegtetésére legalkalmasabb. Végre a hangvillát



nyirettyűvel hoztam rezgésbe. Itt is csakhamar azt kellett tapasztalnom, hogy, eltekintve azon 3 vagy 4 határozott fölhangtól, melyre a hangvilla képes és a melyet az ép enleírt módon jól lehet kizsákmányolni, minden villának hangja kissé ingadozó. (Legjobb szolgálatot tett egy Helmholtz- és egy Melde-féle szabályozható hangvilla.)

Ha mármost néhány különböző nagyságú hárttyát az asztalra teszünk, a kísérletezést gyorsan eszközölhetjük: a hárttyák vagy önrezgéseket végeznek s ekkor erősen megszólalnak, vagy pedig kényszerítettnek a hangvillák rezgéseit fölvenni, ha ezekre egyáltalában alkalmasak. Az alsóbb, vagyis a zenei hangoknak megfelelő idomok csak *kiclégitők*, míg a magasabb (5—10,000 rezgési számú) hangoknak alakjai *kifogástalanok*.

A következő kísérleteimet részint húrokkal, részint pedig hangvillákkal tettem, a mint épen a szükség magával hozta. — Lássuk tehát azon tüneteményeket, melyek a négyzetalakú hárttyákon mutatkoznak. A köralakú hárttyákkal szemben azonnal kitűnik, *hogy itt is csak két egymásra függélyesen álló vonalrendszerrel van dolgunk. Valamint a köralakú hárttyákon a koncentrikus körök és az azokra merőlegesen álló küllők képezték az alapidomokat, úgy itt is az egymásra függélyesen irányuló, de egymást nem metsző interferenz-vonalak adják a kiindulási főtídomokat.*

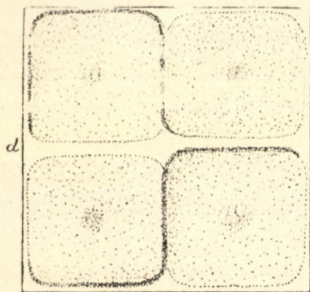
Hogy hány négyzetalakú idomrészlet képződik a különböző hárttyák felületein, ez függ a hang magasságától, a hárttya nagyságától és annak hangvezetési képességétől. U. i. minél magasabb az alkalmazott hang, minél nagyobb a hárttyának felülete és vezetési ellentállása, annál több idomrészlet fog kifejlődni rajta. *Azaz itt nem az interferenz-vonalak száma, hanem azoknak egymástól való távolsága, vagyis a félhullámhossz jön tekintetbe s e szerint határozhatjuk meg az illető hangnak a magasságát.*

Kezdjük meg a vizsgálódást a legmélyebb hangokkal. Nehezen ugyan, de mégis sikerült egy 3 méter hosszú aczéllúrral és 400 milliméter oldalhosszszal bíró hárttyával tisztán létrehoznom oly alakot, a milyen az ide mellékelt 40-ik ábrán látható. A hárttya 4 részre oszlott, melyeknek rezgési középpontjai a mellett tanuskodnak, hogy itt keresztrezgésekkel van dolgunk, de

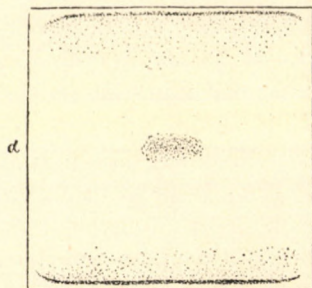


az éles vonalak megint azt bizonyítják, hogy egyúttal a hosszrezgés is szerepelt. Az idom azonnal elárulja azt is, *hogy itt egy egész hullámmal van dolgunk.*

Ugyancsak a szóban levő húrral sikerült még nagy nehezen egy félhullámot is előállítanom (41-ik ábra), de a hang már

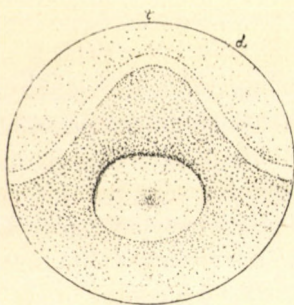


40. ábra.

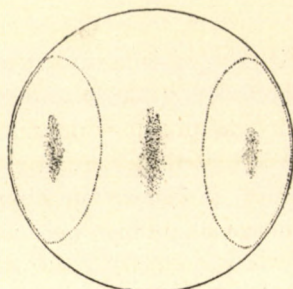


41. ábra.

olyan mély volt, hogy azt többé nagyjából sem tudtam megítélni. A rezgési középpont határozottan elárulja, hogy itt csak egy *félhullám* szerepelt. A homok hatalmasan felkavarodott, de a hártya szélén csúszott, miből megint azt következtethetjük, hogy a hosszrezgés még itt is belevegyült a kísérletbe. Talán nem lesz



42. ábra.



43. ábra.

érdektelen, ha az épen leírt hangidomhoz egy félhullámú kör-idomot is mellékelek, melynél egyúttal a *hullámfoszlás* tünete is észlelhető. (42-ik ábra.)

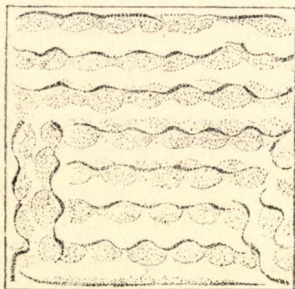
A hártyáknak másfél, két, harmadfél és három hullámra való oszlása már könnyebben ment, de gyakran ezeket az ido-



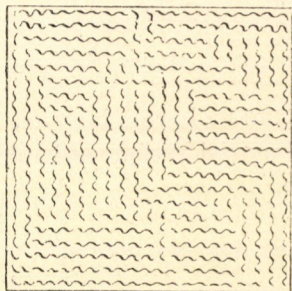
mokat is órákig kellett keresnem, míg végre sikerültek — és csakis a rendelkezésemre álló sok hártyának köszönhetem, hogy láttam azokat. A 43-ik ábrán egy *másfél hullámú* hangidom látható; azonnal észrevehetjük, hogy itt két vonalnak kimaradásával a négyes-oszlás szerepel.

A négy hullámra való bontásnál már a hangvillákat használhattam s a nehézségek a szerint kisebbedtek, a mint a hullámok száma szaporodott. Fölösleges volna az alsóbb rendű idomokat mind ide mellékelni, mert egy pillantás a 44-ik és a 45-ik ábrára, mindannyinak lényegét azonnal elárulja.

Nagy mértékben módosíttatnak a szóban levő hangidomok az által, hogy itt-ott az egyik interferenz-vonal a másikba ugrik



44. ábra.



45. ábra.

át és egymásba olvad; továbbá hogy a hangnak megfelelő hullámhossz gyakran sehogyan sem illik a hártya méreteibe s így ez utóbbi, hogy úgy mondjam, csak kényszerűségből rezeg. Mindamellett könnyű volna a szép interferenz-vonalnak segítségével az ismeretlen hangok rezgési számának meghatározása, ha nem kellene még más nehézségekkel is számolnunk. De ilyen van még elég. Először a hártya hangvezetési képessége, mely a reá nehezedő légoszlop ellentállásával párosul és különösen az alsóbb hangoknak megfelelő keresztrezgéseknél feltűnő módon érvényesül. További nehézségek származnak a hullámfoszlásból és az idegen hangok vonalainak belekeveredéséből. (A hullámfoszlás érdekes jelenségét látjuk a 37., 42., és 44-ik ábrán). A hullámfoszlás abban áll, hogy az egész hullám, vagyis a három interferenz-vonal közötti tér, félhullámokká foszlik, azaz minden



két interferenz-vonal közé még egy harmadik is betolakodik. A hullámfoszlás az által ismerhető föl könnyen, hogy az eredeti interferenzvonalak közötti területeknek az egyik fele egészen pormentes, a másik pedig porszegény. A porszegény területek azonban többnyire egyenletesen be vannak fedve homokkal. A hullámfoszlás leginkább akkor áll elő, ha a húr, vagy a hangvillát csak igen gyöngén kell dörzsölnünk, hogy az idom keletkezzék, midőn tehát a hártya amugyis könnyen alkalmazkodik a hangzó test rezgéséhez. E tűnemény oka abban rejlik, hogy az illető alaphangnak első fölhangja könnyen érvényesül. A hullámfoszlásnál gyakran azt is észlelhetjük, hogy minden második interferenz-vonal egész hosszában élesen át van hasítva. (Lásd a 42-ik ábrát.)

A hártyák megterhelhetése (100—200 grammal) a *hosszrezgéseknél* semmitsem változtat az idomon, miből világosan kitűnik, *hogy a hosszrezgéseknél a hártya feszültsége egyáltalában szóba sem jöhet*. Ugyanazt állíthatjuk a hártyán levő nyílásokról is: az egyes interferenz-vonalak egyenesen a nyílásnak tartanak s átlépve azt, úgy folytatják a kijelölt irányt, mint a sértetlen hártyán. Nagyobb nyílásoknál lényegtelen vonal-összehúzóadás vagy eltérítés észlelhető.

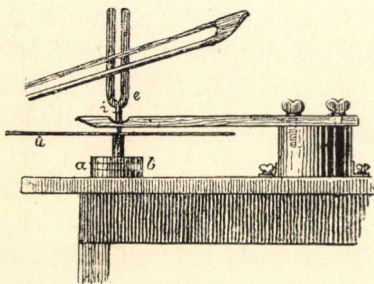
A keresztrezgéseknél a megterheletés megváltoztatja az alakot, ha a nehezek valamely rezgési középpontra esik, de alkalmas nehezek elősegíti az idom kifejlődését, ha csomóvonalon vagy csomóponton nyugszik. *A hártya önrezgésénél* a megterhelés által az idomok nagy mértékben módosulnak.

Mindezekén átesvén, a kíváncsiság arra vitt, hogy vajjon nem lehetne a hangátvitelt a fém- vagy az üveglemezekre is alkalmazni? Mindenki ismeri a Chladni-féle hangidomoknak létrehozási módját; a kitűnő Chladni e tekintetben bámulatos dolgokat művelt, de módszere csakis a lemezek önrezgéseire terjedt ki és eddig — kivéven Elsas\* — senki által lényegesen nem fejlesztetett tovább. A megfogamzott gondolat nem marad eredménytelen. Az üveglemezek, mert ezekkel kezdtem meg kísérleteimet, sokáig daczoltak, de mivel már a legelső kísérle-

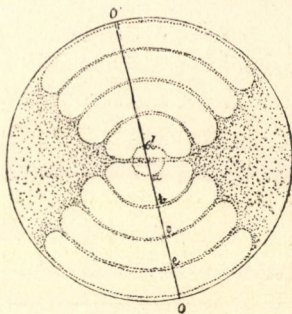
\* Elsas. «Über erzwungene Schwingungen von Platten». Wied. Ann. 1884. Bd. 19 und 20.



teknél észrevettem, hogy a homokszemecskék némelyike ingadozik, biztossá vált a meggyőződése, hogy a kitűzött czélt el fogom érni. Sok keresés után két faléczet vettem elő, melyeket csavarokkal úgy szorítottam össze, hogy az egyik alulról, a másik pedig felülről tartotta az üveglemezt. A hangvillának nyele a felső léczen keresztülhatolt és az üveglemezt a középpontjában érintette. Az alsó faléczre 10 milliméter magas, de lehetőleg keskeny parafadugócska volt erősítve, melyen az üveglemez középpontja feküdt s így a lemez a két lécz közt szabadon lebegett. Jól összeszorítván már most a csavarokat és behintvén a 362 milliméter átmérőjű üvegkorongot homokkal, a hangvillát hegedűvonóval erősen kezdtem dörzsölni. *Nemsokára 4 szabályos,*



46. ábra.



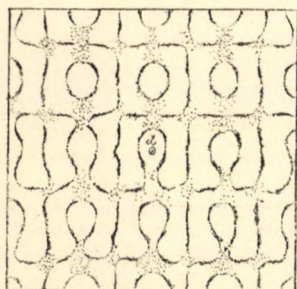
47. ábra.

*igen éles és koncentrikus homokkör mutatkozott.* A kísérletet vagy 20-szor ismételtam s úgy találtam, hogy a körídomok legélesebben kifejlődött részén keresztülhaladó átmérő mindig 338 milliméternyi volt. Ezután, részint kényelem kedvéért, részint pedig azért, hogy a hangvillát az üveglemezek tetszésszerű pontjára állíthassam, a fentebbi módszert még annyiban változtattam, hogy a hangvillának faléczét egyszerűen valamely állványra úgy erősítettem meg, a mint ez az ide mellékelte 46-ik ábrán látható. Ily módon sok üveglemez hozható rezgésbe, de mégsem valamennyi. (Ez a módszer a hártákra is előnyösen alkalmazható.)

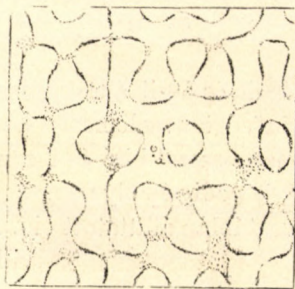
Most újra elővettem a 362 mm. átmérőjű üvegkorongot és bár hányszor is ismételtam a kísérletet, az eredmény állandó maradt. (47-ik ábra). A homokkörök mérése a legélesebben kifejlődött részeken, az  $o o'$  vonal irányában történt. Az első homokkörnek



$ab$  megfelelő félhullámhossza (a középponttól számítva) 48, a másodiké 41·5, a harmadiké 41·5, a negyediké végre 38 milliméter volt. Azonban az idom középpontja körül olykor még egy kis homokkör támadt, melynek  $ad$  átmérője 12 és 13 milliméter közt változott, így tehát  $r = 6\cdot5$  milliméter volna. Ha ezt az értéket 48-ból (az első körből) levonjuk, akkor az  $ab$  félhullámhossz is = 41·5 milliméter lesz. Az utolsó kör és a korong karimája közötti távolság 12 millimétert tett ki. Az, hogy  $eo$  félhullámhossz csak 38 és nem 41·5 milliméter volt, a mellett szól, hogy a szilárd lemezeknél a rezgő pálczák tüneményei szem előtt tartandók. Megjegyzendő még, hogy a szóban levő hullámhossz, különféle fajta üveglemezeken, 10 milliméterrel is változott.



48. ábra.



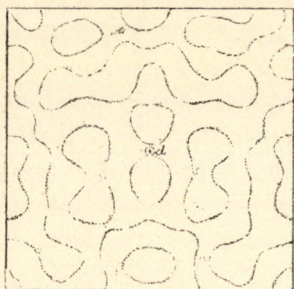
49. ábra.

Ha most a hangvilla nyelét az üvegkorong középpontjából néhány milliméterrel odább teszszük, akkor a concentrikus körök ellipszisekké változnak és rovatkásokká lesznek; a rovatkás fejlődés pedig azt bizonyítja, hogy a rezgés a küllők irányában is érvényesül.

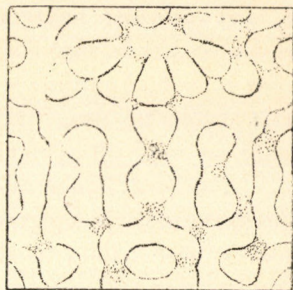
A többi üvegkorongok átmérői 100—362 milliméterrel bírtak, míg a négyzet alakú lemezek méretei 100—480 mm. közt változtak. A szalagalakú lemezeim hossza egészen 960 milliméterig terjedt; vastagságuk 1—10 milliméterig nőtt s mondhatom, hogy gyakran nehezebb volt az 1, mint a 10 milliméternyi vastag lemezt rezgésbe hozni. Külömben ez utóbbi kísérletek mindenesetre a legnehezebbek közé tartoznak és sok gyakorlatot igényelnek, *de megbecsülhetetlenek, mivel mérésekre kitűnően alkalmasak.*



Az ide mellékelt 48—53-ik ábrán hosszrezgési idomok láthatók s úgy hiszem, hogy minden további magyarázat nélkül megérthetők; előállítási különbségük azonban a következők:



50. ábra.



51. ábra.

a 48-ik és 49-ik ábra egy és ugyanazon hangvillával, de különböző minőségű üveglemezen hozatott létre. A 48-ik alak egy 375 mm. oldalhosszal bíró és 2 mm. vastag, finom solinüveg-lemezen, a 49-ik pedig ép oly nagyságú, de csak 1 mm. vastag és közönséges üvegtáblán állítottatott elő. Az 50. és 51-ik idom ugyanazon hang-



52. ábra.



53. ábra.

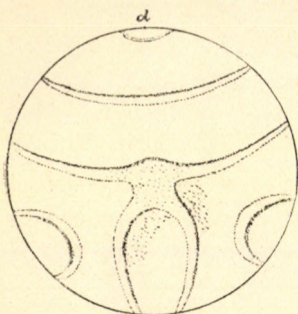
villával és ugyanazon üvegtáblán (460 mm. oldalhossz és solinüveg), de a közép-pontnak néhány milliméternyi változtatásával hozatott létre. Az 52. és 53-ik ábra szintén ugyanazon hangvillával és egyenlő minőségű, de különböző méretekkel bíró (425. és 90 ; 358. és 70 mm.) szalagalakú üveglemezeken idéztetett elő. Némely esetben csak egyenes, haránt fekvő és egyenlő hullámhosszal bíró interferenz-vonalak mutatkoznak.

Az igen magas zöngéknek pontos meghatározása (a kellő segédeszközök hiányában) nem volt lehetséges, de ha az üveg hangvezetési sebességét 16-nak veszem, akkor számításaimból az derül ki, hogy itt legalább is 17,000 számú rezgésekkel van dolgunk.

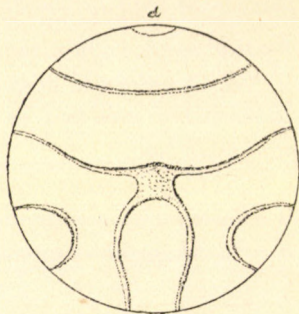
Az épen leírt hangidomok fontossága szembetünő, de mivel



előállításuk fölötté nehéz, szükségesnek tartottam czélszerűbb kísérletezési módot keresni. A kitűzött czélt az által értem el, hogy az üveglemezek szélét a hangvilla i pontjához szorítottam s ekkor



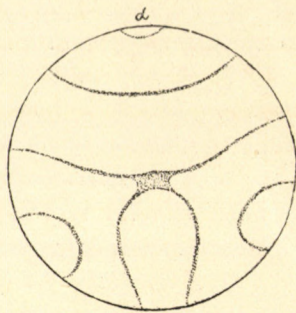
54. ábra.



55. ábra.

a hangvillát nyirettyüvel erősen dörzsöltem. (Lásd a 46-ik ábrát.) Ezen fogással a mélyebb (zenei) hangok áttétele is elég könnyen sikerül. Az 54. és 55-ik ábrán látjuk a chromatikus skála *cis'* zöngéjének (körülbelül 270 rezgés) megfelelő idomát, midőn fejlődik és az 56-ik ábrán, midőn már teljesen kifejlődött. (Az üvegkorong átmérője 332, vastagsága 1 mm. volt).

A *rendes idomok*, az üvegnek hangvezetési képességétől eltekintve, *tökéletesen azokhoz hasonlítanak, melyeket a rezgő hártyákon észleltünk és az oszlási rendszer itt is mindenütt érvényesül.* Így pl. a 30, 32, 33 és 36-ik hártyaidomoknak szilárd lemezekben való előállítása nem nehéz dolog. Az ide mellékelt 57-ik ábrán a rendesektől kissé eltérőbb és ritkább alakot látunk, holott az 58-ik ábrán a legrendesebb és a legmagasabb hosszrezgéseknek megfelelő idom van feltüntetve.



56. ábra.

A felsorolt kísérletek és tümenyek alapján összegezzük tehát a levonható igazságokat:

1. A hártyák épen úgy rezegnek, mint a húrok vagy fonalak.



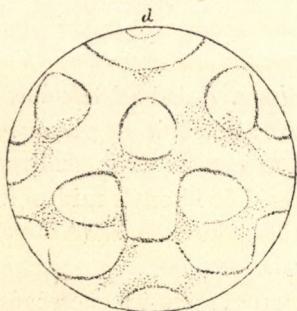
2. Minden hártya úgy képzelendő, mintha végtelen sok hár-  
ból állana, melyek egymásra függélyes két irányban rezegnek.

3. Az interferenz-vonalak nem egyaránt fejlődnek ki a jelzett  
két irányban: némelykor az egyik, máskor megint a másik irány  
érvényesül jobban, sőt vannak esetek, melyekben az egyik irány  
oly túlnyomó, hogy a másik elenyészni látszik.

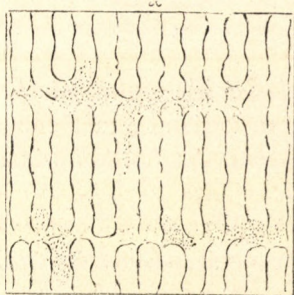
4. A hullámok szabálytalan visszaverődése által a két füg-  
gélyes irány módosul és a hártyaikon gyakran több kiindulási  
pont észlelhető.

5. Úgy a hártyaikon, mint a szilárd lemezekben is a kereszt-  
és a hosszrezgés egyidejűleg érvényesülhet.

6. Magasabb hangoknál a keresztrezgés mindinkább háttérbe



57. ábra.



58. ábra.

szorul és a hosszrezgés nyilvánul jobban; úgy látszik, hogy a leg-  
magasabb hangoknál a keresztrezgés egészen elenyészik.

7. A keresztrezgésekben levő területeken fölfelé ugrik és  
pezsegni látszik a homok, holott a hosszrezgés hullámai alatt  
rángó területeken a homok vízszintes irányban tovább sikklik.

8. A keresztrezgéseket végző területeken mindig rezgési közép-  
pontok, illetőleg rezgési középvonalak mutatkoznak, holott ezek  
a hosszrezgéseknél teljesen hiányzanak.

9. A köralakú hártyaikon és üveglemezeken az interferenz-  
vonalak részint a koncentrikus körök, részint pedig az átmérők  
irányában helyezkednek el rendesen, de sohasem metszik egy-  
mást.

10. A négyszegletes hártyaikon az interferenz-vonalak rende-  
sen a keretnek két átellenes oldalával párhuzamosan futnak.



Hasonló elrendezés nyilvánul a szilárd lemezekben is, csak hogy ez utóbbiaknál a rendellenesség gyakoribb, mint a hártványoknál.

11. Ha valamely köralakú hártvány a legmélyebb hangjának megfelelőleg egészben rezeg, akkor rezgési középpontja a hártvány mértani középpontjával esik össze s ez esetben csakis a szélén fejlődik ki egy köralakú interferenz-vonal, mely Chladni szerint a rezgő lemezekben nem fordulhat elő. Hasonló dolog történik a négyszegletes hártványokon is.

12. Ha valamely hártvány a keresztrezgéseknél több részre oszlik, akkor ezen részek köralakú területekben úgyekszének rezegni, de mivel ezen területek más összetevő erők által is befolyásolva vannak, kénytelenek alakjukat megváltoztatni. Így a körökből gyakran ellipszisek, vagy másnemű görbék is fejlődnek ki.

13. Minthogy a merőleges irányban egymásfelé haladó hullámok nem mindig egyenlően hatályosak, az interferenz-vonalak részletei sem fejlődnek ki mindig rendes négyszetekké, illetőleg a koncentrikus idomoknál ivelt trapezekké. Azonban az elmaradt merőlegesek nyomai híven visszatükröződnek az által, hogy a győztes interferenz-vonalakon épen annyi bevágás észlelhető, mint a hány interferenz-vonalnak a másik merőleges irányban kellett volna kifejlődnie. A jelzett helyeken — úgy a hártványokon, mint a szilárd lemezekben — az interferenz-vonalak megszakadnak s ekkor vonalak helyett kis csomópontok észlelhetők az idomokon.

14. A hosszrezgésekből eredő hangidomoknál minden jel arra mutat, hogy ugyanazon anyagból készült hártványokon az egyenlő hangoknak egyenlő méretekké bíró idomok felelnek meg, legyen bár a hártvány feszültsége, nagysága és alakja egészen különböző is.

15. A keresztrezgésekből eredő interferenz-vonalak mérésekre nem alkalmasak, mert a rezgő területek több, de különösen a levegő ellentállásából származó és egyelőre könnyen meg nem határozható behatástól is függenek.

16. A hártványok, bár igen sok hangnak jeltevésére alkalmasak, még sem képesek minden hanghoz teljesen alkalmazkodni. Ugyanez áll a szilárd lemezekről is.

17. A hártványokat hártványok által is lehet megrezegtetni, a nélkül, hogy érintkezésben volnának egymással s ez akkor sikerül



legjobban, ha a hárttyák egyenlő önhangzásba hozhatók. (A ezélt könnyen elérjük, ha a két hárttyát néhány centiméternyi távol-ságban párhuzamosan egymás felé helyezzük s aztán a felsőt valamely üvegesövel megrezegtetjük.)

18. A hárttyák annál szabályosabban rezegnek, minél fogé-konyabbak a hangidomok képződésére s minél tisztábbak és maga-sabbak az áttett hangok.

19. Ha valamely hárttya a kellő részekre maradék nélkül nem oszthat el, de az interferenz-ronalak képződésére mégis alkal-mas, akkor annak szélén  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{8}$  hullámhosszal bíró ronalközök tűnnek föl, melyek a méréseknél mellőzendők. Ugyanez áll a hárttya keretén képződő s többnyire nagyobb hullámhosszal bíró interferenz-ronalakról is.

20. Ugyanazon hárttyán egyidejűleg több rendbeli hangnak megfelelő interferenz-ronal is léphet föl s ez által az idom a méré-sekre alkalmatlanná válik.

21. Vonalugrások és ronalkimaradások igen gyakori tüne-mények úgy a hárttyákon, mint a szilárd lemezeken is s ezek által az idomok lényegesen módosulnak.

22. A hárttyákon és szilárd lemezeken egyidejűleg több rend-beli osztlás és hullámfoszlás is léphet föl.

23. A hosszrezgéseknél sem a hárttyának vastagsága sem pedig súlya nincsen befolyással a hangidomok képződésére, azok alakjára vagy hullámhosszára nézve.

24. A keresztrezgéseknél a hárttyáknak megterheltetése nagy szerepet játszik.

25. A hárttyaidomok azért különböznek lényegileg a szilárd lemezek idomaitól, mivel ez utóbbiak nem fejlődhetnek ki egészen; így pl. a 13-ik hárttyaidomunk megfelelne a Chladni-féle egyszerű + vagy  $\times$  jelű hangidomnak, úgy a kör-, mint a négyzetalakú lemezeken, de míg a hárttyán az egész félhullám fej-lődött ki, addig a szilárd lemezen csak  $\frac{1}{4}$  hullám szerepelt, mely-nek rezgési középpontja a lemez szélére esett. Ugyanez áll a 16. 22. és a 31-ik hárttyaidomunkról is, melyek a Chladni-féle  $\frac{1}{4}$  hullámú és 6-os, 8-as, 12-es osztlású küllőidomokkal hasonlitan-dók össze. A rokonság mindenütt feltalálható.

26. Magától érthető, hogy a hárttyák és lemezek transversalis mozgása azonos természetű s így eléggé ismeretes dolog.



*A hosszrezgéseknél a mozgás a rezgő test síkjával párhuzamosan halad és épen úgy, mint a keresztrezgéseknél, álló hullámokat képez. Ennek következtében az interferenz-vonalak által elválasztott szomszédos részek ellenkező irányban mozognak. A két szomszédos résznek ezen hullámmozgása az illető interferenz-vonalakra merőlegesnek veendő. Ezek által Kundtnak ide vágó kutatásait \*) ujonnan kísérletileg bebizonyítva látjuk.*

---

\*) Kundt. Poggend. Ann. Bd. 126.





1635-1922/23.